

# Studi Eksperimen Pengaruh Lunas Bilga Terhadap Gerakan *Rolling*

Haris Hendratmoko, Hasanudin, I.K.A.P. Utama

Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: kutama@na.its.ac.id

**Abstrak**—Gerak roll merupakan parameter penting dalam stabilitas kapal, dimana pada cuaca buruk gerak roll dapat menyebabkan capsizing. Di sisi lain, koefisien damping merupakan parameter terpenting untuk meredam gerakan roll. Berbagai Bentuk anti-roll device kemudian digunakan untuk memperbesar koefisien damping dan kemudian mengurangi gerak roll kapal. Salah satu bentuk anti-roll yang populer adalah lunas bilga, karena sejumlah kelebihanannya antara lain efektifitas lunas bilga dan sifat lunas bilga yang pasif. Aspek yang perlu diperhatikan dalam pemasangan lunas bilga adalah efektifitas dalam meningkatkan koefisien damping dan respon kapal akibat pemasangan lunas bilga. Tugas akhir ini menjelaskan tentang pengaruh panjang lunas bilga (Lbk) dan lebar lunas bilga (Bbk) terhadap koefisien damping dan respon kapal. Variasi ukuran lunas bilga yang digunakan yaitu B0; B1; B2; B3; B4; B5; B6. Selain itu juga dilakukan variasi periode gelombang 1,2; 1,6; 2; 2,4 dan 2,8 untuk menghitung respon kapal. Semua uji gerak roll berdasarkan eksperimen towing tank di laboratorium hidrodinamika. Dari hasil analisa didapatkan penambahan lebar lunas bilga lebih efektif daripada penambahan panjang dan juga pemasangan lunas bilga efektif mengurangi respon puncak kapal apabila dibandingkan dengan barehull.

**Kata Kunci**—Lunas bilga, Respon puncak, koefisien damping, gerak roll, variasi ukuran lunas bilga.

## I. PENDAHULUAN

KETIKA kapal berlayar akan selalu berhadapan dengan cuaca yang selalu berubah-ubah, diharapkan pada kondisi apapun kapal tetap *survive* untuk menghadapi hal tersebut. Gerakan Roll merupakan fenomena penting pada kapal yang di akibatkan oleh kondisi laut pada saat berlayar, ditambah dengan sedikit koefisien lain dapat menyebabkan kecelakaan serius berupa capsizing [1]. Di sisi lain damping adalah parameter terpenting dalam persamaan gerakan roll, karena damping mengontrol magnitude dari amplitudo rolling [2]. Komponen terbesar pada *damping* adalah *damping* yang diakibatkan oleh lunas bilga. Lunas bilga dapat bekerja secara optimum apabila dipasang pada kapal yang diam atau berkecepatan rendah, tetapi pada umumnya lunas bilga tetap efektif pada kecepatan berapapun dengan menambah sedikit hambatan pada kapal [3]. *Roll damping* yang dihasilkan dari lunas bilga sedikit lebih besar dari pada *anti roll device* yang lain dan mempunyai keuntungan karena instalasinya yang mudah dan bersifat pasif [4]. Secara keseluruhan lunas bilga sangat efektif untuk menanggulangi *roll* dan wajib digunakan

apabila memungkinkan, karena lunas bilga merupakan salah satu alat yang dapat berfungsi secara efektif di beberapa kondisi laut [5]. Pada eksperimen yang akan dilakukan pada tugas akhir ini, digunakan berbagai variasi ukuran lunas bilga dan gelombang untuk mempelajari hubungan gerakan roll dan gaya-gaya damping yang dipengaruhi oleh lunas bilga. Pada penelitian ini akan dibahas ukuran optimum lunas bilga dan efektifitasnya berdasarkan pengujian pada tangki uji.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

Efektivitas dari pemasangan lunas bilga mencapai titik maksimum ketika kapal dalam keadaan diam atau pada kecepatan yang sangat rendah. Saat kecepatan kapal mulai bertambah, *hull damping* juga meningkat dan peningkatan tersebut mungkin melebihi *roll damping* yang didapat dari pemasangan lunas bilga. *Roll damping* pada kapal yang bergerak merupakan kombinasi *wave radiation* dan *viscous damping*. *Viscous damping* sendiri dapat dibagi menjadi gesekan pada lambung kapal dan *eddy-making damping* [5]. *Damping* yang terjadi karena gesekan pada badan kapal biasanya sangat kecil, sehingga pada percobaan dengan menggunakan model hal ini dapat dikesampingkan seluruhnya. *Wave radiation* atau damping potensial sangat sensitive terhadap frekuensi *roll* dan amplitudonya, serta berharga linier terhadap amplitudo *roll*.

*Eddy-making damping* berasal dari vortex di ujung kapal dan berharga non-linier terhadap amplitudo *roll*. Lunas bilga damping sendiri dapat mencapai 60% - 70% dari *viscous roll damping* [6]. Perhitungan *radiation damping* dapat diprediksi secara akurat dengan perhitungan numeric, sedangkan *eddy-making* dan lunas bilga harus diprediksi dengan percobaan eksperimen.

Pada umumnya lunas bilga diletakan pada daerah midship sampai sepertiga panjang kapal. Pemasangan lunas bilga yang terlalu jauh dibagian depan kapal dapat mempengaruhi gerakan pitch.

RAO (*Response Amplitude Operator*) dapat disebut juga sebagai Transfer Function, karena RAO dapat mentransfer gaya gelombang menjadi respons yang terjadi pada kapal [7]. RAO adalah fungsi yang memberikan gambaran tentang amplitudo gerak osilasi kapal dengan amplitudo gelombang regular. Harga RAO dapat diketahui baik secara analitik maupun dengan model test. Test yang dilakukan harus mengambil jarak atau bentang frekuensi gelombang yang luas.

RAO merupakan fungsi respon yang terjadi pada rentang frekuensi tertentu. Persamaan RAO dapat dicari dengan persamaan (1) sebagai berikut [8]:

$$RAO = \frac{\zeta_z}{\zeta_w} \quad (1)$$

Dimana :

$z$  = Amplitudo Kapal

$w$  = Amplitudo Gelombang

Dalam perhitungan RAO, gelombang dianggap sebagai gelombang regular. Dari RAO gelombang regular ini bisa diketahui perilaku kapal di laut secara nyata, termasuk gerakan *roll*.

### III. PENGUJIAN TOWING TANK

Percobaan dilakukan di tangki uji (*towing tank*) laboratorium hidrodinamika Fakultas Teknologi Kelautan-ITS. Ukuran towing tank adalah 50mx 3m x 2m. Tangki uji juga mempunyai pembangkit gelombang (*wave maker*) yang menggunakan sistem hidrolik dengan kemampuan membangkitkan gelombang sampai periode 5 detik. Model kemudian ditaruh pada kereta (*towing carriage*) yang pada percobaan ini dalam keadaan diam.. Model yang digunakan mempunyai ukuran utama sebagai berikut :

Tabel 1. Ukuran utama model kapal

DIMENSI MODEL KAPAL IKAN	
LOA (mm)	1610
LWL (mm)	1535
B (mm)	360
H (mm)	150
T (mm)	112
Displacement (kg)	35.5

Model kemudian dipasang pada kereta tarik pada arah 90 derajat dari datangnya gelombang. Model kapal pada towing carriage berada 15m dari pembangkit gelombang untuk mengurangi pengaruh dari dinding tangki uji (*tank wall interference*) dan gelombang balik dari peredam gelombang.

Tabel 2 dibawah merupakan variasi periode yang digunakan pada percobaan. Variasi periode kemudian digunakan untuk menghitung besarnya RAO kapal. Pengukuran response gerak *roll* secara simultan dilakukan dengan menggunakan 2 buah instrument yang dinamakan Linier Variable Displacement Transformer (LVDT). LVDT dihubungkan amplifier dan seterusnya ke terminal komputer terus dicatat melalui strip chart. LVDT dipasang pada bagian kanan dan kiri kapal.

Tabel 2. Variasi Periode Kapal

Periode	
T1	2,8
T2	1,2
T3	1,6
T4 (24)	2
T5	2,4
T6	decay test

Amplitudo gelombang pada setiap percobaan adalah 2.55 cm. Sedangkan variasi dimensi lunas bilga yang digunakan seperti terlihat pada tabel 3 dibawah.

Tabel 3. Variasi Dimensi Lunas Bilga

Kode	Lbk ( cm )	Bbk ( cm )	rasio Lbk/Bbk
B0	0	0	0
B1	58	4,54	12,78
B2	116	4,54	25,55
B3	58	9,06	6,40
B4	117	9,06	12,91
B5	58	18,13	3,20
b6	118	18,13	6,51

Variasi B3 merupakan ukuran lunas bilga yang secara umum dipakai pada kapal [9][10]. Variasi B3 di hitung menggunakan persamaan (2) dan (3):

$$Lbk = 0,6 \times C_b \times L \quad (2)$$

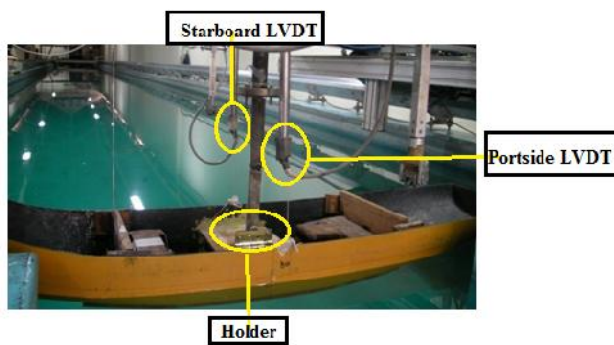
$$Bbk = 0.18 / ( C_b - 0,2 ) \quad (3)$$

Variasi selanjutnya merupakan pembagian dan perkalian dari ukuran berdasarkan persamaan tersebut. Hal ini dilakukan untuk membuktikan efek dari pemasangan lunas bilga dan koefisien *damping* yang dihasilkan, serta efek penambahan panjang dan lebar bilga.

Lunas bilga dibuat dari kayu dan dipasang pada sudut 45 derajat dari lambung kapal.



Gambar 1. Pemasangan lunas bilga pada model



Gambar 2. Pemasangan model pada kereta (*towing carriage*) Sedangkan pada percobaan T6 atau decay test, *initial angle* yang diberikan adalah 15 derajat.

Dari hasil strip chart kemudian dilakukan analisa menggunakan metode *linier dan quadratic (method 2)*, *linear damping only (method1)* dan *linear and quadratic damping (method2)*. (MARIN report No. 22808-3-OB-F.3).

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis terhadap *roll decay* untuk semua variasi lunas bilga dilakukan dengan cara analisa strip chart tangki uji. Kemudian dari hasil strip chart towing tank akan didapatkan nilai *damping* menggunakan metode *linier dan quadratic (method 2)* sebagai berikut:

Tabel 4. Hasil perhitungan *linear and quadratic damping*

variasi	T0	linear damping	quadratic damping
b0	0,404	44,50	0,192
b1	0,4	67,95	0,192
b2	0,45	77,63	0,352
b3	0,46	105,94	0,336
b4	0,6	98,83	0,352
b5	0,5	118,94	0,224
b6	0,598	107,85	0,240

Variasi yang terdapat pada Tabel 4 merupakan variasi dimensi bilga yang telah dikemukakan pada Tabel 3.

Dari Tabel 4 dapat dilihat bahwa *roll damping* sangat sensitive terhadap dimensi dari lunas bilga. Dari Tabel 4 juga dapat dilihat bahwa pemasangan lunas bilga dengan ukuran normal (B3) dapat menambah *roll damping* kapal secara signifikan. Penambahan *roll damping* mencapai 138% untuk linear damping dan 75% untuk *quadratic damping* apabila dibandingkan dengan *barehull*. Hasil tersebut membuktikan bahwa pemasangan lunas bilga dengan dimensi normal dapat mengurangi gerakan *roll*. Dari Tabel 4 dapat dilihat hasil dari B3 dan B4 (penambahan panjang lunas bilga) terdapat kenaikan sebesar 58% pada *linear damping*. Dengan membandingkan hasil dari B3 dan B5 (penambahan lebar lunas bilga) dapat dilihat adanya kenaikan sebesar 103% pada *linear damping*. Dari kedua fakta tersebut dapat diketahui bahwa penambahan lebar lunas bilga jauh lebih efektif

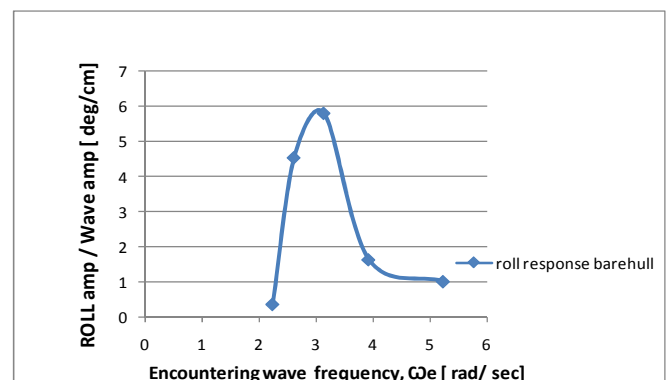
daripada penambahan panjang. Dari data pada Tabel 4 tersebut juga dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan periode natural model kapal, hal ini berkaitan erat dengan penambahan *added inertia* yang secara langsung juga berhubungan dengan dimensi lunas bilga.

Analisa seakeeping pada uji *roll* dilakukan dengan analisa strip chart hasil percobaan dengan berbagai variasi gelombang. Hasil analisa strip chart dapat dilihat pada Tabel 5 dibawah :

Tabel 5. Hasil perhitungan roll response B0

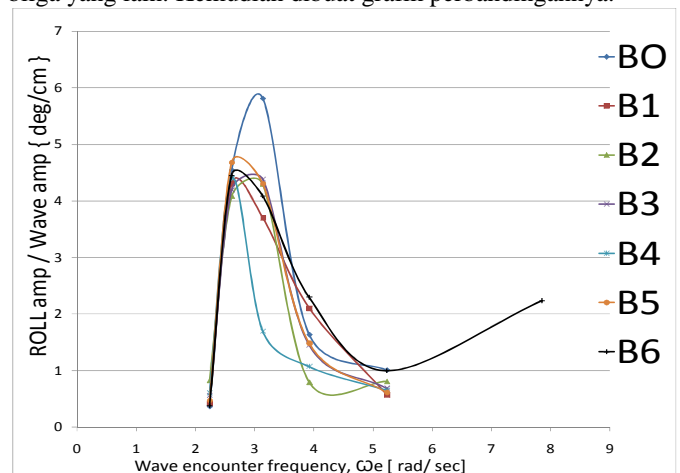
Variasi	Periode		roll	Roll response
Gelombang	Gelombang		(derajat)	
T1	2,8	2,244	0,92	0,358
T2	1,2	2,618	11,62	4,546
T3	1,6	3,142	14,86	5,815
T4	2	3,927	4,17	1,632
T5	2,4	5,236	2,57	1,008

Dari Tabel 5 kemudian di buat grafik hubungan antara respon gerak *roll* dengan frekuensi encounter gelombang.



Gambar 3. Respon gerak *roll* model kapal tanpa lunas bilga (*barehull*)

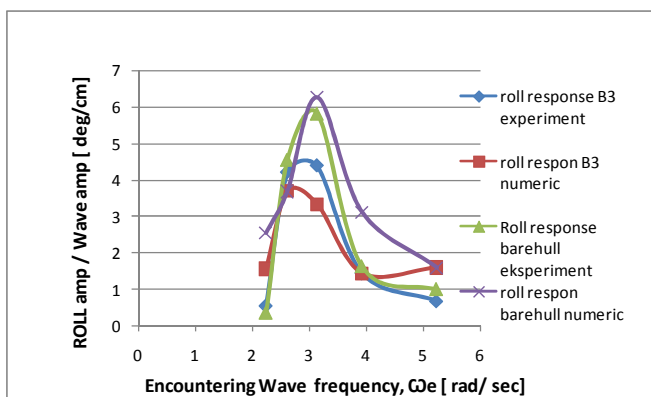
Analisa yang sama kemudian dilakukan pada variasi lunas bilga yang lain. Kemudian dibuat grafik perbandingannya.



Gambar 4. Analisa perbandingan hasil grafik respon gerak *roll*

Dari Gambar 4 secara umum dapat dilihat bahwa pemasangan lunas bilga dapat menurunkan puncak resonansi respon gerak *roll* kapal apabila dibandingkan dengan barehull. Hal ini menunjukkan bahwa pemasangan lunas bilga efektif untuk menurunkan respon gerakan *roll* model kapal.

Kemudian berdasarkan formula yang ada dapat dihitung respon gerakan *roll* secara numeric [6]. Hasil perhitungan numeric tersebut kemudian dibandingkan dengan hasil eksperimen. Perbandingan menggunakan model tanpa lunas bilga (barehull) dan model menggunakan lunas bilga B3. Dari hasil analisa perbandingan tersebut kemudian dibuat grafik, seperti di bawah berikut :



Gambar 5. Perbandingan respon gerak *roll* model kapal secara numeric dan eksperimen

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa perhitungan respon gerak *roll*, baik yang menggunakan perhitungan numeric maupun yang menggunakan eksperimen menunjukkan hasil yang hampir sesuai. Hal ini menunjukkan bahwa eksperimen sudah sesuai dengan tujuan dan dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa terdapat kesesuaian antara eksperimen dengan perhitungan numeric.

## V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Dari hasil penelitian dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- 1) Pemasangan lunas bilga efektif dalam mengurangi respon gerakan *roll* kapal sebesar 20% - 30%. Hal ini dikarenakan dengan adanya lunas bilga maka *roll damping* semakin besar dan sesuai dengan percobaan yang telah dilakukan penambahan *roll damping* menyebabkan RAO berkurang dan pada akhirnya respon gerak kapal juga berkurang.
- 2) Dari hasil percobaan *roll decay* dapat diketahui bahwa efektifitas lunas bilga bertambah seiring dengan penambahan lebar lunas bilga. Dari hasil analisa dapat diketahui bahwa penambahan lebar lunas bilga dapat meningkatkan koefisien *damping* sebesar 103% dan penambahan panjang sebesar dua kali panjang awal hanya meningkatkan koefisien *damping* sebesar 58%. Dengan demikian penambahan lebar lebih efektif daripada penambahan panjang.
- 3) Pemasangan lunas bilga dengan ukuran normal (B3) dapat meningkatkan koefisien *roll damping* sebesar 138%. Hal ini sudah sesuai dengan hasil yang diharapkan.
- 4) Dari hasil percobaan juga dapat diketahui bahwa pemasangan lunas bilga dapat meningkatkan periode natural kapal. Peningkatan tersebut diakibatkan penambahan *added inertia* massa karena dimensi lunas bilga.
- 5) Dari grafik hubungan RAO dan , nilai peak respon terbesar di tunjukan oleh lunas bilga B1.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Langgeng Condro teknisi laboratorium hidrodinamika ITS, Bapak Baharudin Ali peneliti laboratorium hidrodinamika Indonesia (LHI) dan Bapak Elliza de Fretes mahasiswa S3 ITS atas bantuannya.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kabylnski, L.K and Kastner, S., *Stability And Safety of Ships*. [ed.] R. br, R. Battacharyya and M.E McCorick. Amsterdam-Boston-Heidelberg-London-NewYork-Oxford-Paris-SanDiego-SanFrancisco-Singapore-Sydney-Tokyo : Elsavier, (2003). p. 3. Vol. I.
- [2] Wikipedia. 2010. [http://en.wikipedia.org/wiki/roll\\_damping](http://en.wikipedia.org/wiki/roll_damping). *Roll Damping*. [Online] 12 29, (2010).
- [3] Ferrari, A. J, Jr , A. Ferreira, M. D, *Assesment of the Effectivenes of the Bilge Keel as Anti Roll Device in VLCC –sized FPSOs, 2002 IMO.The Intact Stability Code MSC.267(85)*. (2008).
- [4] Wikipedia.2010. [http://en.wikipedia.org/wiki/Ship\\_stability](http://en.wikipedia.org/wiki/Ship_stability). *Bilge keel*. [Online] 12 29, (2010).
- [5] Ikeda, Y., *Roll Damping, Proceeding of Ship Motions, Wave Loads and Propulsive Performance in Seaway, 1st Marine Dynamics Symposium*, p.241-249, (1984).
- [6] Ali,B., Katayama T and Ikeda Y, *Roll Damping Characteristic of fishing boats with and without Drift Motion*, Jour. Of International Shipbuilding Progress, vol. 51 No. 2/3, Delft, the Netherlands (2004).
- [7] Lewandowski,E.M., “*The Dynamic of Marine Craft : Maneuvering and Seakeeping*”, World Scientific, New Jersey (2004).
- [8] Bhattacharyya, Rameswar. *Dynamic of Marine Vehicles*. Maryland : A Wiley Series, (1978).
- [9] Lewis, Edward V, *Principles of Naval Architecture* . Jersey City : The Society of Naval Architectuts and Marine Engineers (1989).
- [10] Watson, D. G. M, “*Practical Ship Design*”,Elsevier, Amsterdam (1998).